

**Шкляев Ф. И., Полевщиков И. С.**

**АРХИТЕКТУРА И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ОПЕРАТОРА  
ПОРТАЛЬНОГО КРАНА**

***Филипп Игоревич Шкляев***

*аспирант*

*fishk liaev@gmail.com*

***Иван Сергеевич Полевщиков***

*кандидат технических наук, доцент*

*i.s.polevshchikov@mail.ru*

*ФГБОУ ВО Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет, Россия, Пермь*

**ARCHITECTURE AND SOFTWARE OF THE COMPUTER TRAINING  
COMPLEX OF THE PORTAL CRANE OPERATORS**

***Filipp Igorevich Shk liaev***

***Ivan Sergeevich Polevshchikov***

*Perm National Research Polytechnic University, Russia, Perm*

***Аннотация.*** Тренажерные комплексы являются неотъемлемой частью в обучении операторов технологических процессов. Целью текущей работы является представление результатов о доработке симулятора AnyCrane с целью повышения качества обучения операторов порталных кранов, путем повышения уровня реалистичности имитируемой среды и степени соответствия реальным процессам, расширения возможностей инструктора внутри тренажерного комплекса, внедрения системы анализа результатов выполнения упражнений. В результате работы была представлена архитектура тренажерного комплекса и описаны детали реализации его основных модулей. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-38-00835

**Abstract.** *Computer training complexes are important part of operators training. This article describes modification of AnyCrane in order to 1) increase the level of realism of the simulated environment and the degree of conformity to real processes, that improves the quality of operator training process, 2) expand the capabilities of the instructor inside the training complex, and 3) introduce a system for analyzing the exercises results. As a result of the work, the architecture of the training complex was presented and the implementation details of its main modules were described. The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-38-00835.*

**Ключевые слова:** *тренажерный комплекс, архитектура, порталный кран, симулятор.*

**Keywords:** *training complex, architecture, gantry crane, simulator.*

Тренажеры технологических процессов являются важной частью в обучении технологического персонала, так как способны имитировать окружающую среду с высокой степенью достоверности (и с относительно небольшими затратами) и предоставляют обучающую компоненту, позволяющую выработать необходимые навыки для работы на реальном технологическом объекте.

На текущий момент, тренажерные комплексы для обучения операторов порталных кранов представлены такими компаниями, как CM Labs [1], Liebherr [2], Global Sim [3], SPM [4], и Forward [5]. Продукты компаний данных компаний позволяют выполнять упражнения, просматривать их результаты, формируя сводку по заданному набору параметров. После этого обучаемый совместно с инструктором могут разобрать проблемные моменты. Однако, при многочисленных достоинствах, в данных системах отсутствует возможность создания сцен и упражнений непосредственно инструктором, что ограничивает его возможности по созданию учебного материала. Также, данные продукты не проводят анализ процесса выполнения упражнений с целью усложнения или, напротив, упрощения следующего упражнения.

Таким образом, ни один тренажерный комплекс не обладает одновременно качественным симулятором, позволяющим достоверно имитировать перегрузочный процесс и вовлеченных в него участников, системой создания сцен и упражнений, позволяющим инструктору создавать свой обучающий материал, и советующе-аналитической системой, позволяющей отслеживать прогресс получения навыков и воздействовать на процесс обучения.

Поэтому целью данной статьи будет представление результатов о доработке симулятора AnyCrane с целью интеграции дополнительных модулей, отвечающих за 1) имитацию работы вспомогательного персонала и грузового транспорта, повышающие уровень реалистичности и степень соответствия реальным процессам, 2) формирование сцен и упражнений для инструктора и 3) анализа результата выполнения упражнений.

### Архитектура симулятора

Основная цель симулятора заключалась в имитации основных процессов, включающих в себя перемещение твердых грузов. Для повышения реалистичности на сцене присутствовал стропальщик, выполняющий подцеп-отцеп груза. Архитектура, показанная на рис. 1 показывает структуру и состав модулей, осуществляющих данную логику работы. Подробнее симулятор был описан в статье [6].

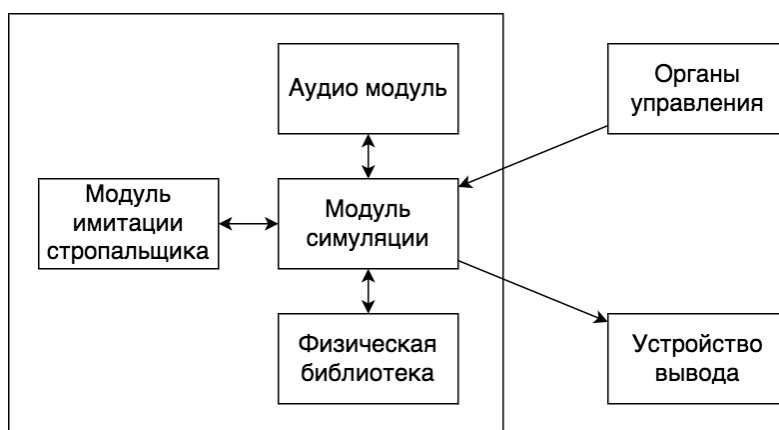


Рисунок 1 — Архитектура симулятора до начала работ

### Постановка задачи

Исходя из поставленной цели, был выделен набор требований к финальному продукту:

1. Тренажерный комплекс является программным продуктом, предполагающим использование пользователями с двумя ролями — инструктор и обучаемый.

2. Должен быть разработан набор графических интерфейсов для взаимодействия со всем функционалом тренажерного комплекса.

Необходимо включить в существующий симулятор дополнительный функционал / возможности:

1. Настройка движения и сценария работы вспомогательного персонала, такого как стропальщик и сигналер.

2. Имитация и настройка работы грузового транспорта внутри порта.

3. Создание, изменение и сохранение виртуальных сцен и сценария упражнения.

4. Система помощи оператору, рассчитывающая набор действий, необходимых для выполнения.

5. Система мониторинга, записи процесса выполнения упражнения, оценки полученных навыков и анализа результатов.

### Архитектура тренажерного комплекса

В результате работы, была спроектирована и реализована архитектура тренажерного комплекса, изображенная на рис. 2.

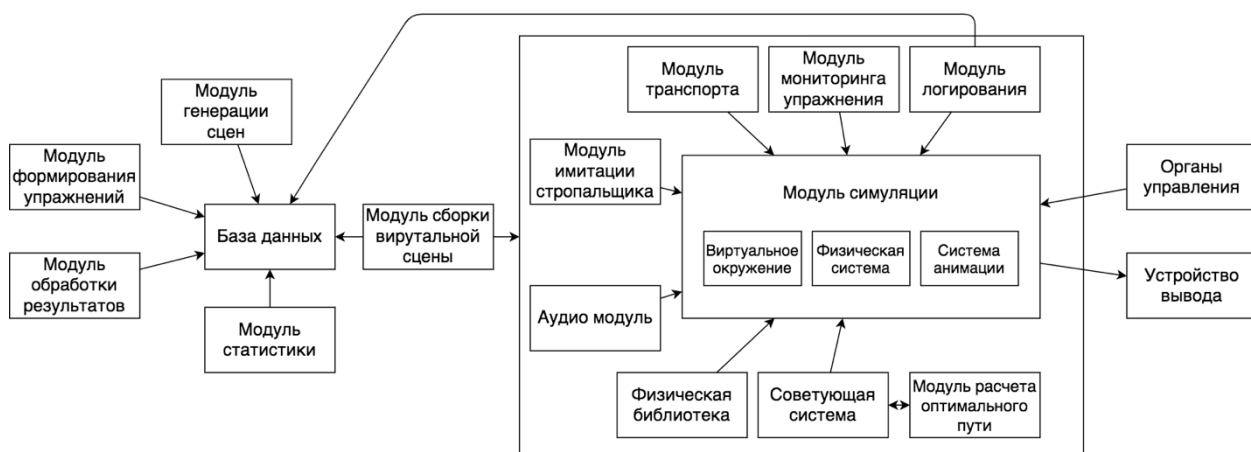


Рисунок 2 — Спроектированная архитектура тренажерного комплекса

Основным требованием при разработке архитектуры была модульность ТК. Это необходимо для быстрого подключения новых моделей и отключения

старых. Архитектура поделена на 2 основные группы: группа модулей, осуществляющих предварительную настройку и создание материалов, и группа, отвечающая за процесс симуляции в режиме реального времени.

Первая группа модулей предназначена для использования инструктором, занимающимся созданием дополнительных виртуальных сцен из предзаготовленного набора компонентов и сценариев упражнений на основе этих сцен.

Модули, которым необходимо работать в режиме реального времени, подключены к модулю симулятора. Каждый из них является опциональным и не зависит от других вспомогательных модулей.

Потоки данных внутри ТК также делятся на 2 категории. Информация о структуре сцен, сценариях упражнений, статистике обучения и ходе выполнения упражнений хранится в базе данных. Обмен информацией, необходимой для моделирования упражнения в режиме реального времени происходит через модуль симуляции.

### **Реализация модулей**

Реализация тренажерного комплекса велась на базе движка Unity. Для создания и редактирования 3D-моделей использовался Blender. Ниже приведено описание деталей реализации модулей тренажерного комплекса.

#### *Модуль имитации стропальщика*

Стропальщики являются неотъемлемой частью перегрузочного процесса. Поэтому они были выделены в виде отдельного модуля, имитирующего их поведение. Функционал, который был реализован, включает в себя: перемещение стропальщика по территории перегрузочного процесса (рис. 3), сигнализирование оператору с целью навигации груза или крюка (рис. 4), подцеп и отцеп груза (рис. 5). Функционал может быть разделен на отдельных работников, так, чтобы один из них выполнял только подцеп и отцеп груза, а другой только подачу сигналов.



Рисунок 3 — Перемещение стропальщика по сцене

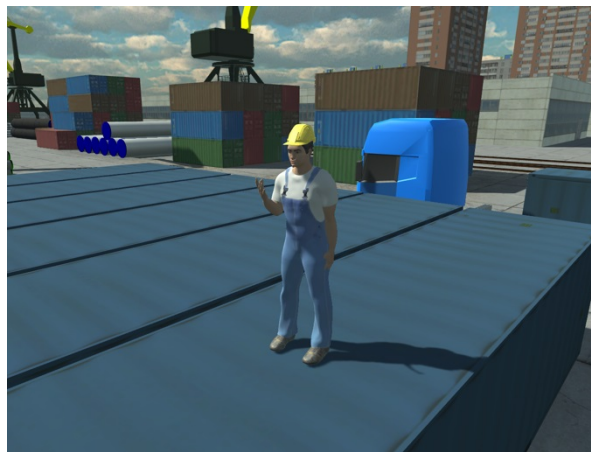


Рисунок 4 — Подача сигналов

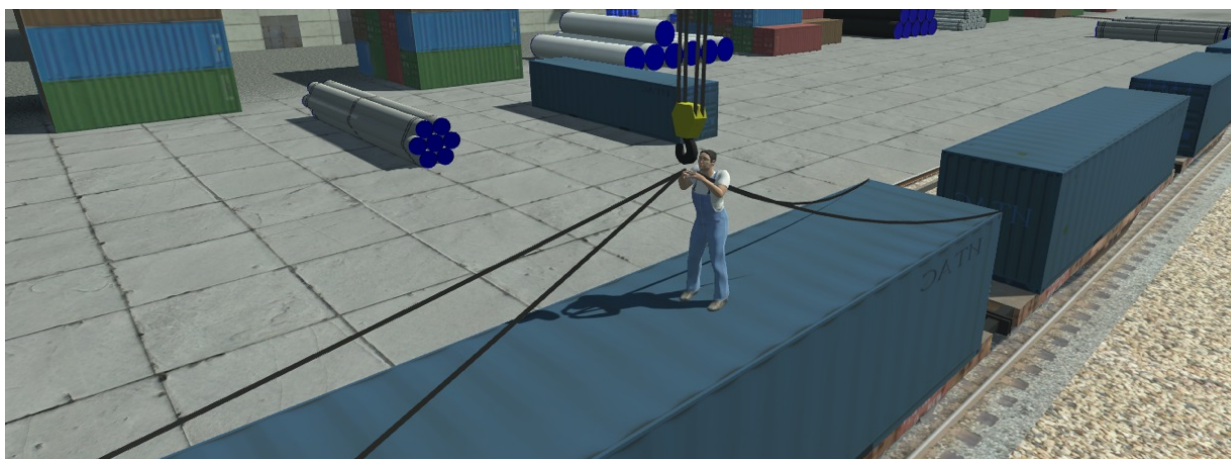


Рисунок 5 — Строповка контейнера

Для реализации анимации конкретного движения был использован метод скелетной анимации, использующий ключевые кадры и интерполирующий положение костей в кадрах между ними. После реализации всех необходимых движений, все компоненты были объединены в граф, изображенный на рис. 6, показывающий возможность перехода из одного состояния в другое.

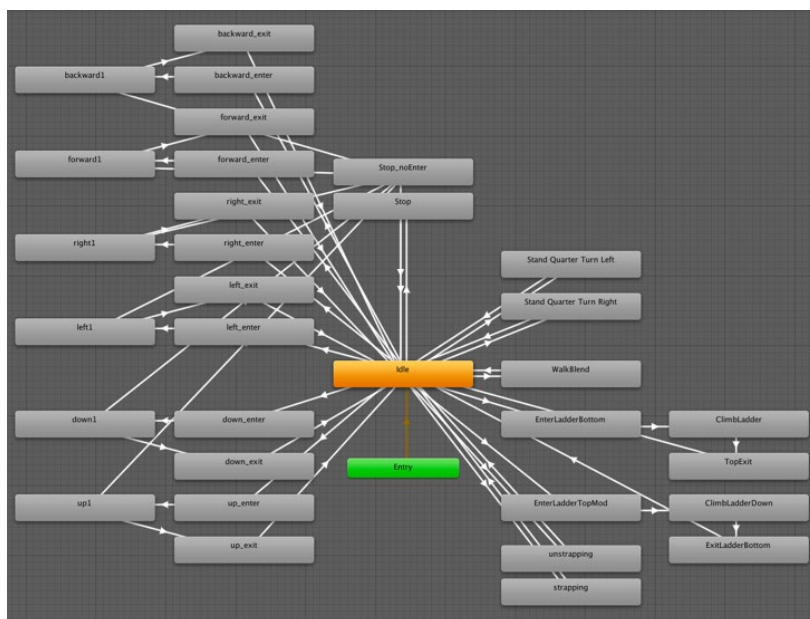


Рисунок 6 — Анимационный граф стропальщика

### *Модуль транспорта*

Транспорт, участвующий в перегрузочном процессе, был разделен на 2 категории: речной и наземный, который в свою очередь делится на автомобильный и железнодорожный. Речной и железнодорожный транспорт являются статичными в рамках перегрузочного процесса, а автомобильный, напротив — динамичным, т.к. может перемещаться вместе с грузом несколько раз за упражнение. В связи с этим было решено имитировать движение автомобильного транспорта внутри порта, а статичная модель речного и железнодорожного транспорта будет выбрана на этапе настройки сцены и перемещаться не будет.

Автомобильный транспорт был реализован как физическое твердое тело, движущееся по набору контрольных точек, расставленных на сцене. Каждая контрольная точка имеет один из predetermined статусов: начало маршрута, промежуточная точка, точка разгрузки, точка погрузки, конец маршрута. Модель грузовика изображена на рис. 7.



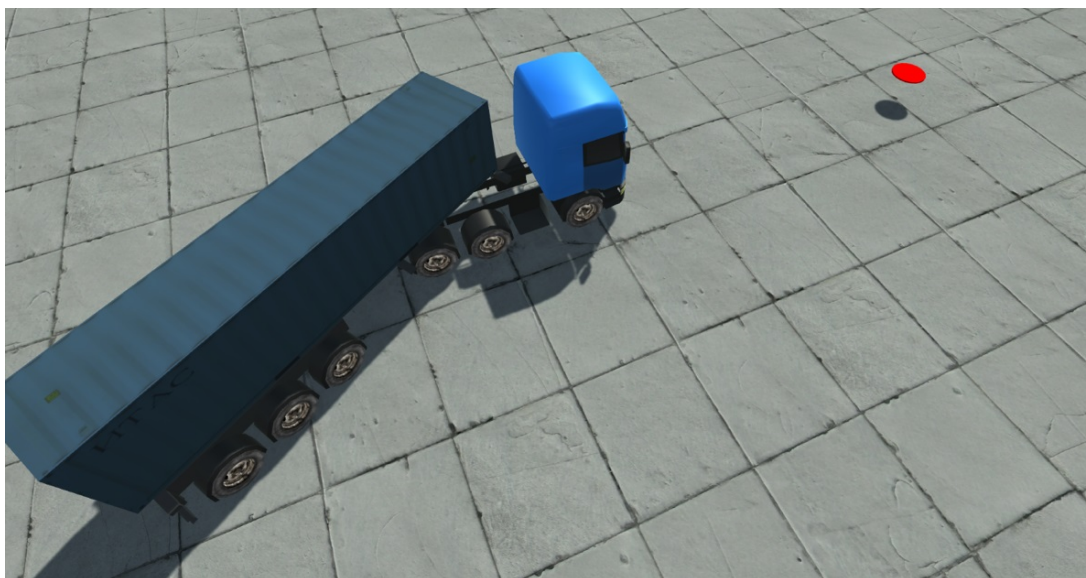


Рисунок 7 — Грузовой автомобиль поворачивает к контрольной точке

### *Модуль формирования упражнений*

Модуль формирования упражнений необходим для того, чтобы инструктор мог создавать собственные сценарии упражнений и, впоследствии, группировать набор упражнений в отдельные программы.

В процессе создания упражнения, инструктор имеет возможность задать место начальную и конечную точки для груза, выбрать грузы и их количество, расположить их на сцене, добавить контрольные точки, через которые должны пройти грузы и условия их прохождения. Составленные программы и сценарии упражнений хранятся в базе данных ТК. Подробнее данный модуль был описан в статье [7].

### *Модуль логирования, модуль мониторинга упражнения и модуль обработки результатов*

В процессе разработки ТК, был выделен ряд важных для отслеживания показателей [8]. Модуль логирования был реализован для их сбора и записи в базу данных с целью дальнейшего анализа.

Модуль мониторинга упражнения выполняет сравнение требуемых показателей с фактическими и выводит предупреждения и рекомендации для обучаемого. Модуль работает в режиме реального времени и обеспечивает мгновенную реакцию на отклонения от хода упражнения.



Наконец, модуль обработки результатов выполняет оценку собранных в процессе упражнения данных и вычисляет показатель освоения того или иного навыка. В зависимости от результатов выполнения упражнения и настроек порогового значения, происходит выбор следующего упражнения и настройка его сложности. Алгоритмы и методы работы модуля обработки результатов подробно описаны в статье [6].

#### *Модуль советующей системы*

Данная модель была реализована для помощи оператору начинающего уровня. Модуль решает задачу определения необходимых управляющих воздействий для перемещения груза из начальной точки в конечную.

Алгоритм работы модуля разделен на 2 части:

1. Нахождение маршрута прохождения груза. Маршрут находится в соответствии с упором на один из факторов: время, дистанция, количество управляющих воздействий. Найденный маршрут дискретизируется.
2. Решение обратной задачи и поиск необходимых управляющих воздействий.

В результате работы модуля, оператор получает советующие воздействия в формате «управляющий элемент — положение». В случае отклонения груза от планируемой траектории, происходит либо повторный запуск алгоритма, либо повторение упражнения сначала.

#### **Заключение и выводы**

Результатом данной работы стало проектирование архитектуры ТК и реализация его модулей, с учетом поставленных требований. Достоинством разработанного ТК, с точки зрения архитектуры, является модульность и слабая связанность его компонентов, что позволит уменьшить трудозатраты на выполнение модернизации ТК в будущем. Ограничением данной системы является ее предметная область, т.к. компоненты были реализованы с учетом особенностей перегрузочного процесса в порту и не могут быть легко интегрированы в другие ТК.

### *Список литературы*

1. Port Equipment Training Solutions – CM Labs Simulation –  
URL: <https://www.cm-labs.com/simulation-solutions/port-equipment-training-solutions/>.
2. Crane simulators LiSIM – Liebherr. –  
URL: <https://www.liebherr.com/en/rus/products/maritime-cranes/maritime-technology/crane-simulators-lisim/lisim-special-page.html>.
3. Crane Simulators & Training Systems | GlobalSim. –  
URL: <https://www.globalsim.com/>.
4. Симулятор тренажер крана (мостового, козлового, башенного). –  
URL: <http://specprofmat.ru/products/18985801>.
5. Тренажеры грузоподъемных механизмов. –  
URL: <https://www.autotrenajer.ru/cost/price-6>.
6. AnyCrane: Towards a better Port Crane Simulator for Training Operators /  
R. A. Fayzrakhmanov, I. S. Polevshchikov, A. F. Khabibulin, F. I. Shklyayev,  
R. R. Fayzrakhmanov // 15th International industrial simulation conference. – Warsaw,  
2017. – С. 85–87.
7. Shklyayev, F. Development of Exercise Designing Module for Computer  
Training Complex / F. Shklyayev, R. Fayzrakhmanov // Proceedings of the 7th International  
Conference on Applied Innovations in IT. – Perm, 2019. – С. 37–41
8. Шушарина, А. В. Особенности мониторинга потока данных в виртуальной  
среде тренажерного комплекса оператора портального крана / А. В. Шушарина,  
Р. А. Файзрахманов // Материалы Седьмой всероссийской научно-практической  
конференции «Решение». – Березники, БФ ПНИПУ, 2018. – С. 390–391.